UDC: 004.93 https://doi.org/10.15407/jai2023.03.147

С.В. Сімченко[1], М.С. Клименко[2], А.І. Шевченко[3], І.В. Сімченко[4]
[1,2,3]Інститут проблем штучного інтелекту МОН України і НАН України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03680
[1,2]Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Україна
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, 03110
[1]sstehnology85@gmail.com
[2]nik@ipai.net.ua
[3]rektor_iai@ukr.net
[4]simchilona@gmail.com
[1]https://orcid.org/0009-0005-5280-7564
[2]https://orcid.org/0000-0003-4433-6641
[3]https://orcid.org/0000-0002-0095-538X
[4]https://orcid.org/0009-0006-8166-9735

СУЧАСНА КОМПОНЕНТНА БАЗА ЕЛЕКТРОНІКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Анотація. У статті наведено огляд перспективи використання наноматеріалів для вирішення сучасних завдань робототехніки. Продемонстровано практичний аналіз матеріалів на етапі проєктування конструктивних елементів в рамках розробки малошумного підводного безпілотного апарату із штучним інтелектом для розвідки та знищення надводних і підводних об'єктів.

Показано перспективи використання нанотехнологій для покращення характеристик квантових перетворювачів. Встановлено збільшення чутливості та розширення спектрального діапазону оптичних сенсорів. Показана можливість використання таких сенсорів в практичних конструкціях робототехніки.

Ключові слова: прикладна робототехніка, наноматеріали, квантові перетворювачі, системи зі штучним інтелектом, оптичні сенсори.

S. Simchenko[1], M. Klymenko[2], A. Shevchenko[3], I. Simchenko[4]
[1,2,3]Institute of Artificial Intelligence Problems of the Ministry of Education and Science of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
40, Akademika Glushkova Ave., Kyiv, 03680
[1,4]State University of Information and Communication Technologies, Ukraine
7, St. Solomyanska, Kyiv, 03110
[1]sstehnology85@gmail.com
[2]nik@ipai.net.ua
[3]rektor_iai@ukr.net
[4]simchilona@gmail.com
[1]https://orcid.org/0009-0005-5280-7564
[2]https://orcid.org/0000-0003-4433-6641
[3]https://orcid.org/0000-0002-0095-538X
[4]https://orcid.org/0009-0006-8166-9735

MODERN ELECTRONICS COMPONENT BASE FOR BUILDING AUTOMATED ELECTRONIC SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Annotation. The article provides an overview of the prospects for the use of nanomaterials for solving modern tasks in robotics. A practical analysis of materials at the stage of designing structural elements as part of the development of a low-noise underwater unmanned aerial vehicle with artificial intelligence for reconnaissance and destruction of surface and underwater objects is demonstrated.

The prospects of using nanotechnology to improve the characteristics of quantum converters are shown. An increase in sensitivity and an expansion of the spectral range of optical sensors have been established. The possibility of using such sensors in practical designs of robotics is shown.

Keywords: applied robotics, nanomaterials, quantum converters, systems with artificial intelligence, optical sensors.

Вступ

Розвиток сучасної електронної компонентної бази, мережевих технологій, принципів та алгоритмів написання кодів програм дозволяє реалізувати завдання, коли частину інтелектуального навантаження замість людини бере на себе комп’ютер. Тобто комп’ютер може виконувати не прості та однотипні тривіальні операції, а самостійно приймати рішення, аналізуючи інформацію, що надходить до нього з різних джерел. Головним рушієм, що дозволяє досягти успіхів при побудові таких систем, є використання штучного інтелекту (далі – ШІ). Важливою умовою побудови систем із ШІ є забезпечення можливості виконання машиною не лише типових повторюваних операцій, але й забезпечення можливості навчання машини в процесі роботи.

Основні задачі, які стоять перед інженерами при побудові систем із ШІ, полягають у тому, щоб створити такі системи, які могли б отримувати інформацію з навколишнього середовища та використовувати її для навчання створених людиною машин, здобуття ними досвіду та прийняття рішень, аналогічно тому, як відбувається розумова діяльність людини.

Успіхи в розвитку ШІ пов’язані із досягненнями інформаційно-комунікаційних технологій та матеріалознавства. Особливо нагальною проблема вибору матеріалів постає для розробок, які використовуються у екстремальних умовах.

При побудові систем із ШІ важливим є питання швидкості та якості інформації, яка зможе надходити з навколишнього середовища для проведення її обробки та аналізу всередині електронної системи, що відповідно впливатиме на навчання системи з ШІ та прийняття нею рішень. Тому розробка мініатюрних чутливих та швидкодіючих сенсорів фізичних величин навіть при сучасних досягненнях в галузі фізики твердого тіла та успіхах в напівпровідникових технологіях є надзвичайно актуальною.

Значна частина інформації, що надходить до автоматизованих електронних систем, є оптичною інформацією. До компонентних засобів для отримання оптичної інформації можна віднести: CMOS-матриці для отримання відео- та фотозображень, фотодіодні датчики освітленості, пірометричні та болонометричні сенсори для роботи в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах. В загальному випадку всі існуючі різновиди сенсорів для отримання оптичних сигналів в різних діапазонах можна віднести до класу квантових сенсорів. В основі роботи таких сенсорів лежать принципи реєстрації падаючих квантів випромінювання [1].

Покращення електрофізичних параметрів та мініатюризація розмірів таких квантових сенсорів є важливим та актуальним завданням.

У даній роботі показано процес проєктування системи із штучним інтелектом для розвідки та знищення надводних і підводних об’єктів, ключовим апаратним елементом якої виступає безпілотний підводний апарат (БППА).

БППА може занурюватися у морські глибини, виконуючи завдання, що зазвичай є дуже ризикованими для людей. Він може перебувати під водою доволі довгий час, здійснюючи розвідку або навіть виконуючи бойові операції, не ризикуючи життям людей. Такі безекіпажні підводні платформи можуть досліджувати та збирати дані на значній глибині, в умовах різких перепадів температур та тиску, що надто небезпечні для людей. Усе це відбувається в режимі реального часу, забезпечуючи отримання віддаленим оператором необхідного обсягу інформації [2].

На відміну від традиційних підводних човнів, створення і обслуговування БППА може виявитися ресурсно вигідніше (за кількістю персоналу, часу, розхідних матеріалів), особливо при виконанні складних або довготривалих місій.

Навігація БППА в підводному середовищі здійснюється з застосуванням як зовнішніх сигналів, що надходять з надводного середовища (від оператора), так і на основі сигналів датчиків та сенсорів фізичних величин (безінерційна навігація).

Концепція системи управління роєм БППА

БППА не лише надсилають детальну інформацію про своє навколишнє оточення, але також можуть здійснювати постійний моніторинг важливих регіонів. Тому такі апарати доцільно використовувати одночасно у великій кількості, що дає змогу покрити значні акваторії та прискорити виконання різноманітних завдань. Для поєднання БППА у рій розроблено систему, що складається з низки апаратних вузлів [3]. Загальна схема управління роєм БППА наведена на рисунку 1.

Оператор виконує управління за допомогою додатка через один із обраних каналів зв’язку: 3G/4G або інший варіант доступу до Internet (включно із супутниковим зв’язком), пряме з’єднання із надводною станцією або ретранслятором. У випадку комунікації через Internet, додатково застосовується центральний сервер для організації авторизованого доступу до інших вузлів системи.

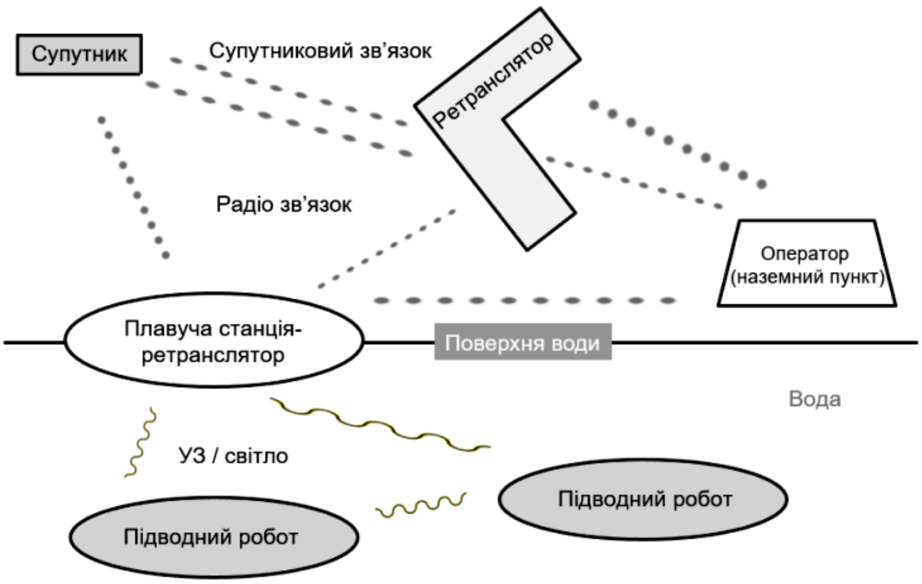


Рис. 1. Схема управління роєм БППА

Ретранслятор може бути наземного, повітряного (квадрокоптер) та надводного базування і виступає у ролі репітера команд для розширення зони покриття під час комунікації засобами радіозв'язку. *Плавуча станція-ретранслятор* виконує ту саму роль, але дозволяє обмін командами між повітряним та водним середовищами. Під водою для зв'язку між БППА та надводною станцією можуть використовуватися ультразвук, світловий високочастотний зв'язок [4] або дротове з'єднання (застосовано у експериментальній частині даної роботи).

Підводний робот є основним функціональним агентом, що формує рій, має проєктовані можливості бездротової комунікації із іншими агентами та автономної навігації за умови втрати зв’язку із ретранслятором або режиму роботи без його застосування. Опишемо детальніше апаратну платформу підводного робота.

Загальний огляд конструкції підводного апарата

БППА, що розглядається у даній роботі, має багатоцільове подвійне призначення. Таким чином до конструкції висуваються підвищені вимоги щодо часу автономної роботи, площі УЗ-виявлення та генерації шуму. Схема основних апаратних складових БППА наведена на рисунку 2.

Для забезпечення руху підводного апарата використовуються 4 двигуни в вертикальному напрямі (стабілізація в горизонтальній площині) та 2 маршеві двигуни, які розташовані горизонтально. Для стабілізації БППА реалізовано 3 незалежні пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) програмні контролери. Контролери *x, y* відповідають за

стабілізацію у горизонтальній площині. За необхідності, в крені та тангажі відбувається установка відповідних кутів нахилу для осей. Контролер *z* відповідає за вертикальну стабілізацію під час відсутності спливання/занурення на основі даних барометра.

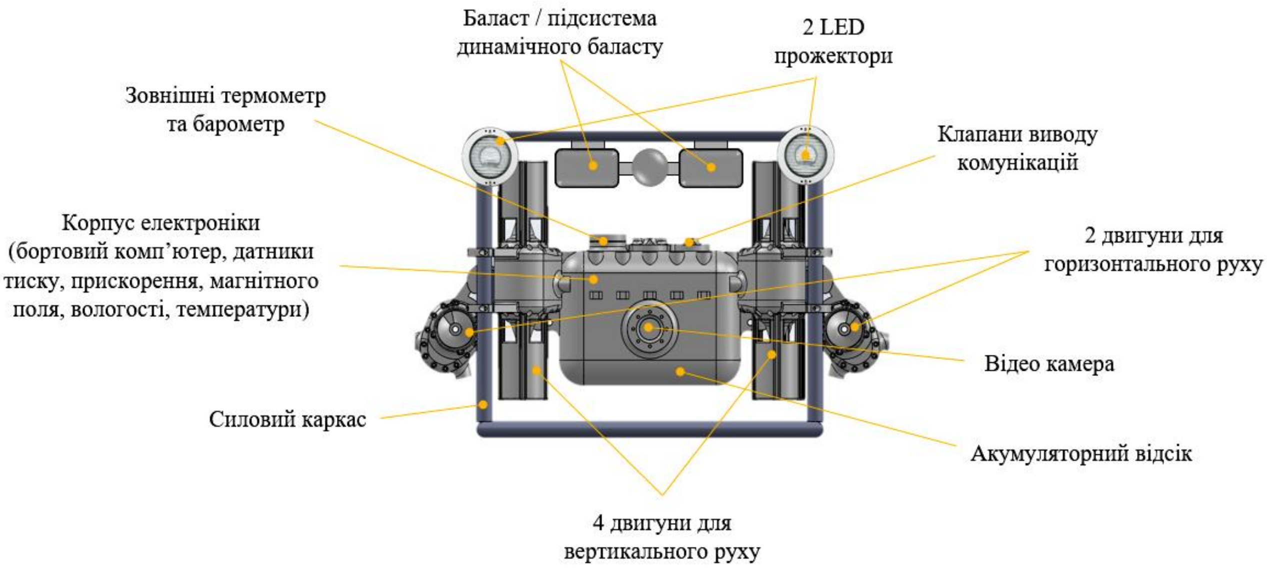


Рис. 2. Схема основних апаратних складових БППА

Програмне середовище тестування

Авторами роботи для моделювання поведінки бортової навігації БППА було адаптовано програмне середовище тестування автономної навігаційної системи (АНС) літальних апаратів [5]. У середовищі БППА взаємодіє з оператором через наявні згідно з визначеними умовами експерименту канали зв'язку [6]. Емулятор АНС є програмною копією бортової системи та містить модуль пам'яті, що зберігає структуровані дані про стан БППА в конкретний момент часу. Автономна навігаційна система отримує усю оперативну інформацію з бортового комп'ютера БППА (сигнали керування від оператора – за наявності, знімки камери, альтиметром, акселерометром, гіроскопом, компасом). Оператор може відправляти сигнали ручного управління БППА або надсилати послідовність координат площі опрацювання та розташування, до якого БППА повинен виконати задану програму та повернутися. Інформація з датників та камери (барометрична висота, GPS-координати надводної станції, прискорення по 3-х осях та зображення) фіксується на БППА із встановленою в АНС періодичністю.

Оцінка результатів обстеження території окремим БППА рою відбувається на основі обчислення середньоквадратичного відхилення (1) опрацьованої території від загальної кількості запланованих двомірних фреймів, розмір яких становить ¼ м^2 (0,5м х 0,5 м):

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(e_i)^2 = \frac{1}{n}\mathbf{e}^{\mathsf{T}}\mathbf{e} \qquad (1)$$

Під час кожного сеансу взаємодії БППА виконує обмін інформацією із оператором. Ця інформація складається з опрацьованих та індивідуально спланованих фрагментів площі моніторингу, останнього місцезнаходження, стану (телеметрії, програмних чи апаратних помилок) і оновленої візуальної карти пройденого маршруту із знімків.

Відмінність моделювання автономної навігації БППА при втраті сигналу від оператора у порівнянні з керованим БППА полягає в тому, що АНС тимчасово припиняє обмін даними на всіх зовнішніх каналах зв'язку та починає виконувати завдання повернення на місце базування. Коли БППА втрачає зв'язок, дані

інерціальної навігаційної системи та поточна карта маршруту використовуються для обчислення орієнтовної позиції під водою. За наявності референтних підводних об'єктів обчислене позиціонування коригується. У даному режимі БППА підпорядковано виключно АНС: відбувається маршрутизація пакетів до бортового комп'ютера із командами управління від АНС так само, як вони надсилались раніше від оператора.

Покращення електрофізичних параметрів квантових сенсорів для БППА

Нами запропонована можливість покращення чутливості квантових приймачів для робототехнічних комплексів із застосуванням нанотехнологій [7].

У якості прикладу можливості покращення характеристик квантових сенсорів більш детально зупинимось на фотодіодному датнику освітленості. Оскільки саме такий тип сенсора найбільш масово використовується в сучасних робототехнічних комплексах.

Покращення параметрів квантового приймача сигналу можливе завдяки створенню на його «активній» поверхні нанотекстурованого шару [7].

Для проведення досліджень нами використані кремнієві p-n переходи площею 7x7 мм^2, порувату текстуру на поверхні яких отримували методом електрохімічного травлення.

Травлення відбувалось в розробленій нами фторопластовій комірці з платиновим кільцевим електродом (рис. 3). Джерелом живлення служив прецензійний блок на основі модуля KIS-3R33S. Струмова кінетика процесу травлення реєструвалась швидкодіючим АЦП та відображалась на екрані комп'ютера в режимі реального часу.

В якості електроліту для травлення використовувалась 45% фтороводнева кислота, 40% соляна кислота, дистильована вода і 96% спирт у відношенні 1:1:1:1. Морфології отриманих поруватих структур досліджувались за допомогою растрового електронного мікроскопа REM-109. Товщина отриманих поруватих шарів для зразків становила від 40 до 80 нм, при розмірі пор 30-70 нм.

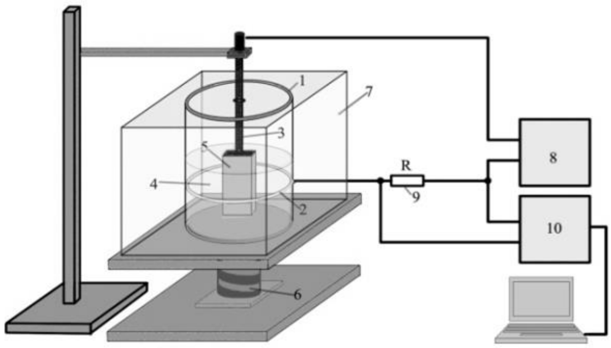


Рис. 3. Комірка для електрохімічного травлення (1-фторопластова ємність для електроліту; 2-кільцевий Pt-електрод; 3-тримач зразка; 4-електроліт; 5-зразок; 6-підставка; 7-світлозахисний екран; 8-прецизійне джерело живлення; 9-опір; 10-блок АЦП)

Для отриманих зразків досліджувались спектральні характеристики. Результати вимірювання повного коефіцієнта відбиття (R) як функції довжини хвилі для виготовлених нами фотоперетворювачів представлені на рис. 4.

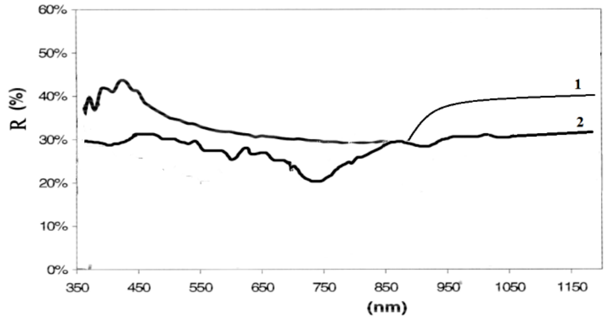


Рис. 4. Повний коефіцієнт відбиття як функція довжини хвилі для стандартного зразка (1); для зразка з поруватим покриттям (2)

Як видно з рисунка 4, на зразках з текстурованою поверхнею спостерігається збільшення поглинаючої здатності, що свідчить про збільшення ККД перетворення таким фотодіодом. Збільшення поглинання падаючого на поверхню зразка випромінювання залежить від розмірів та геометрії створеної на поверхні поруватої текстури.

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) виготовлених нами фотодіодів представлені на рис. 5. Крива 2 знята для квантових приймачів з поруватим шаром

(пористість 55%), крива 1 досліджена для фотоприймачів без поруватого шару. В обох випадках ВАХ досліджені для зразків площею поверхні 49 мм^2 при інтенсивності випромінювання 1000 Вт/м^2 і температурі 300 К. Як видно з графіка, значення струму короткого замикання в фотодіодах з поруватим шаром збільшується ~ 3 % порівняно з монокристалічним зразком таких же розмірів.

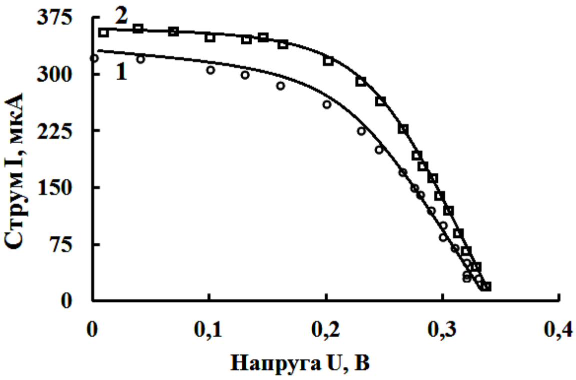


Рис. 5. Вольт-амперні характеристики сонячних елементів з поруватим шаром (2) та без поруватого шару (1) T=27^{0}C

Напруга холостого ходу для обох зразків практично не змінюється. Підвищення струму фотоприймача можна пояснити завдяки збільшенню активної площі поверхні поруватого шару. Збільшення площі поверхні дозволяє підвищити фотогенерацію додаткових носіїв заряду у сформованому поруватому шарі.

Висновки

Розвиток в створенні і практичній реалізації універсальних робототехнічних комплексів передбачає високу надійність роботи систем таких комплексів в різноманітних критичних умовах. Найбільш важливими при конструюванні робототехнічних пристроїв є канали отримання даних з оточуючого середовища. Значна частина таких даних надходить до роботизованого комплексу у вигляді оптичної інформації.

У роботі на основі експериментальних результатів показана можливість покращення електрофізичних характеристик квантових фотоперетворювачів як елементів сенсорів для робототехніки. Покращення характеристик квантових сенсорів здійснено з використанням нанотехнологій.

Такий спосіб дає змогу без значних конструкційних змін фотоперетворювача покращити характеристики квантових приймачів. Також такі сенсори можуть бути використані для побудови інших технічних систем, а саме нейронних мереж, передача інформації в яких відбувається на високих швидкостях по оптоволоконному кабелю.

Продовженням даної роботи буде серія експериментальних досліджень підвищення ефективності виконання спеціалізованих завдань БППА за рахунок покращення електрофізичних параметрів квантових сенсорів.

Література

1. Савченко, А. С., & Синельніков, О. О. (2017). Методи та системи штучного інтелекту. Навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки». НАУ, 109 с.

2. Ciavatta, S., Fernand, L., Aleynik, D., Davidson, K., Skakala, J., Morales Maqueda, M., ... & Heard, J. (2022). CAMPUS science in action. Plymouth Marine Laboratory. http://10.5281/zenodo.6490001.

3. Малий, Р. І., Хаджиков, А. С., Клименко, М. С., Сімченко, С. В. (2022). Розробка системи керування групою безпілотних апаратів. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Нейромережні технології та їх застосування - НМТЗ-2022», 7-8 грудня 2022 р., 2 с.

4. Oubei, H. M., Shen, C., Kammoun, A., Zedini, E., Park, K. H., Sun, X., ... & Ooi, B. S. (2018). Light based underwater wireless communications. Japanese Journal of applied physics, 57(8S2), 08PA06. doi: 10.7567/JJAP.57.08PA06.

5. Klymenko, M., & Shevchenko, A. (2022, November). Development of software tools for testing the autonomous navigation system of UAVs. In 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) pp. 507-510. doi: 10.1109/CSIT56902.2022.10000442.

6. Xi, Chen, Jun, Tang and Songyang, Lao (2020). Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols Appl. Sci.10, 3661; doi:10.3390/app10103661.

7. Кирилаш, О. І., Сімченко, С. В., & Кидалов В. В. (2012). Фотоелектричні перетворювачі на основі пористого арсеніду галію. Фізична інженерія поверхні, 10(2), 217-220.

References

1. Savchenko, A. S., & Synelnikov, O. O. (2017). Metody ta systemy shtuchnoho intelektu. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv napriamu pidhotovky 6.050101 «Kompiuterni nauky». NAU, 109 p.

2. Ciavatta, S., Fernand, L., Aleynik, D., Davidson, K., Skakala, J., Morales_Maqueda, M., ... & Heard, J. (2022). CAMPUS science in action. Plymouth Marine Laboratory. http://10.5281/zenodo.6490001.

3. Malyi, R. I., Khadzhykov, A. S., Klymenko, M. S., Simchenko, S. V. (2022). Rozrobka systemy keruvannia hrupoiu bezpilotnykh aparativ. Materialy XXI Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii «Neiromerezhni tekhnolohii ta yikh zastosuvannia - NMTZ-2022», 7-8 hrudnia 2022 r., 2 s.

4. Oubei, H. M., Shen, C., Kammoun, A., Zedini, E., Park, K. H., Sun, X., ... & Ooi, B. S. (2018). Light based underwater wireless communications. Japanese Journal of applied physics, 57(8S2), 08PA06. doi: 10.7567/JJAP.57.08PA06.

5. Klymenko, M., & Shevchenko, A. (2022, November). Development of software tools for testing the autonomous navigation system of UAVs. In 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) pp. 507-510. doi: 10.1109/CSIT56902.2022.10000442.

6. Xi, Chen, Jun, Tang and Songyang, Lao (2020). Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols Appl. Sci.10, 3661; doi:10.3390/app10103661.

7. Kyrylash, O. I., Simchenko, S. V., & Kydalov V. V. (2012). Fotoelektrychni peretvoriuvachi na osnovi porystoho arsenidu haliiu. Fizychna inzheneriia poverkhni, 10(2), 217-220.

The article has been sent to the editors 20.11.23.
After processing 25.11.23.
Submitted for printing 30.11.23.